

MATERIALES COMPUESTOS. APLICACIONES

(COMPOSITE MATERIALS. APPLICATIONS)

Domingo Escudero López, Dr. Ingeniero Aeronáutico
Consejero-Director de "Materiales Avanzados Ingeniería y Aplicaciones" (MAIA)

Fecha de recepción: 17-I-2001

ESPAÑA

600-6

RESUMEN

Se ha extendido en la actualidad el uso de materiales compuestos formados por resinas poliméricas o plásticos, reforzados con fibras de vidrio, de carbono o fibras de aramida, que alcanzan grandes resistencias, del mismo orden que la de los aceros, con una densidad mucho menor, algo más que la de la madera.

SUMMARY

In the present time the use of composed materials is very extended, composed materials formed by polymer resins or plastics, reinforced with the high resistant fiberglass, carbon or aramide fibers of the same nature of those of the steel, but with a smoller density (a bit higer than this of the wood).

0. Generalidades

La resina tiene una elevada resistencia a compresión, pero no la tiene a tracción: al armarla con fibras de alta resistencia a la tracción, se consigue un material compuesto de muy buenas cualidades.

Su utilización comenzó para aplicaciones aeronáuticas y se extendió enseguida su uso para la automatización en general.

Hoy en día, gracias al abaratamiento de estos materiales, comienzan a aplicarse en la construcción y su uso se va extendiendo a otros muchos campos, como el tendido eléctrico, utensilios industriales, etc.

La designación de estos materiales, propuesta por el Instituto de la Ingeniería de España, es la de "fibroplásticos" (en inglés se les designa por "Fiber Reinforced Plastics Composites" o, abreviadamente, "F.R.P. Composite").

Vamos a definir y clasificar los materiales compuestos en general, para centrarnos, a continuación, en los

fibroplásticos, indicando su composición, sus propiedades y características, para conocer sus aplicaciones.

MATERIALES COMPUESTOS. DEFINICIÓN

Se designa como *Materiales Compuestos* los formados por la unión íntima de dos o más componentes para optimizar las propiedades de la combinación.

Los materiales compuestos así definidos se emplean desde la antigüedad. Es el caso de los adobes: unión de arcilla y fibras de paja o el yeso reforzado con crines de caballo, etc.

1. Clasificación

1.1 Materiales reforzados con partículas

Morteros y hormigones.

Aleaciones ligeras con partículas cerámicas.

1.2 Materiales laminados

Láminas de distintos materiales unidos por presión y/o pegamentos.

Maderas contrachapadas.

1.3 Materiales armados con barras

Hormigón armado o pretensado.

1.4 Materiales reforzados con fibras

Adobes, Yeso fibroso, Cañizos, etc.

1.4.0 Matriz diversa

1.4.1 Fibrocemento

(en inglés: "F.R.C. Composite", Fiber Reinforced Cement Composite)

Morteros y hormigones reforzados con fibras (fibras de amianto, etc.)

1.4.2 Fibroplásticos

(en inglés: "F.R.P. Composite, Fiber Reinforced Plastic Composite)

Plásticos o polímeros reforzados con fibras.

2. Fibroplásticos

(en inglés: "F.R.P. Composite", "Fiber Reinforced Plastics Composite", "composites").

Dentro de la clasificación precedente, los materiales compuestos de actualidad, son los *fibroplásticos* y a ellos se hace referencia, normalmente, cuando se citan los "materiales compuestos".

De acuerdo con su definición, los fibroplásticos están compuestos de un plástico, resina o polímero, que denominamos matriz, reforzado con fibras.

El plástico tiene una elevada resistencia a compresión y la fibra, a tracción. La combinación de ambos componentes hace que el material compuesto sea muy adecuado para múltiples aplicaciones y que pueda adaptarse a las distintas solicitaciones que se le exija.

Las características mecánicas del material compuesto pueden preverse, como el de cualquier material anisótropo, conociendo las características de la matriz y de la fibra y la proporción de ésta en cada sección.

En fase de proyecto se puede decidir esta proporción, que puede oscilar entre un 45 a un 75% en peso de la fibra, para alcanzar la resistencia adecuada. Con estas proporciones la resistencia puede variar de 40 a 1.000 Mpa.

Vamos a analizar por separado estos componentes.

3. Las fibras

Las fibras empleadas en los fibroplásticos son, básicamente:

Fibras de vidrio:

Tipo E (buen aislante eléctrico)

Tipo A (resistencia a los álcalis)

Tipo S (estructural, alta resistencia)

Fibra de carbono

Fibra de aramida

En la Tabla 1 se presenta la composición química normal de estas fibras y en la Tabla 2 sus características físicas principales.

En la Figura 1 puede observarse el diagrama Tensión-Deformación de estas fibras, donde se incluye, a título informativo y comparativo, el del acero normal y el de la matriz de poliéster.

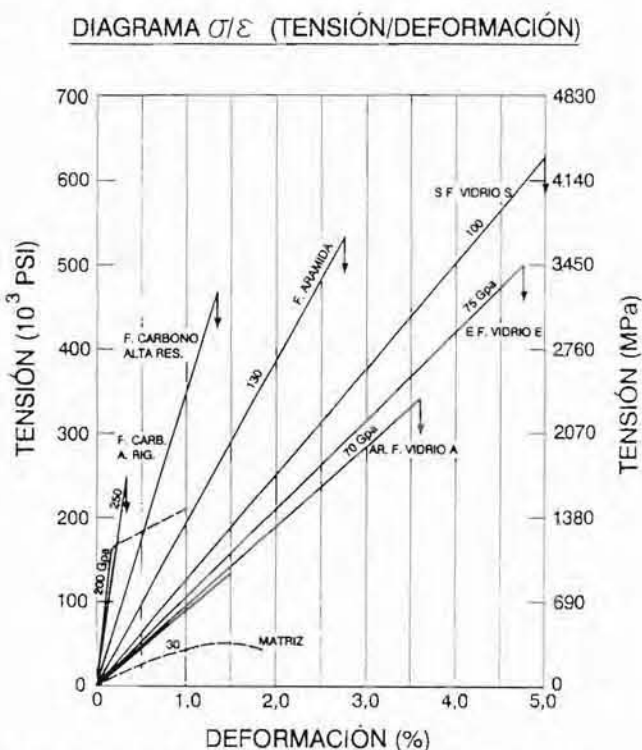


Figura 1.- Diagrama Tensión-Deformación de las fibras empleadas en los fibroplásticos.

TABLA 1

Fibras

COMPOSICIÓN						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O
E-vidrio	54	14	20	0,5	8	1
A-vidrio	72	1	8	4	—	14
S-vidrio	64	25	—	10	—	0,3

TABLA 2

Fibras

CARACTERÍSTICAS				
	Densidad g/cm ³	Resistencia Gpa	Rigidez Gpa	Exp. Térmica 10 ⁻⁶ /°K
E-vidrio	2,58	3,50	72,5	5,0
A-vidrio	2,50	3,00	69,0	8,6
S-vidrio	2,48	4,60	86,0	5,6
Carbono	1,75	3,31	228,0	-0,7/9,0
Aramida	1,44	2,80	133,0	-2,0/60,0

4. Las matrices

4.1 Generalidades

La matriz es el elemento que proporciona la capacidad de resistir los esfuerzos de compresión del fibroplástico, y facilitando el trabajo de las fibras en los esfuerzos de tracción.

La función de la matriz en el material compuesto, en relación con las fibras, es, además de protegerlas contra las condiciones ambientales o agentes mecánicos que pudieran dañarlas o desgastarlas, permitir la transferencia de tensiones entre ellas, en esfuerzos de tracción, y soportarlas, para evitar su pandeo, a fin de que puedan trabajar con la resina, en los esfuerzos de compresión.

En consecuencia, la resina es determinante en la resistencia a compresión del fibroplástico y muy importante en los esfuerzos cortantes. Los esfuerzos de tracción son soportados, fundamentalmente, por las fibras, como ya dijimos.

4.2 Clasificación

Vamos a presentar a continuación la clasificación general de las diferentes matrices empleadas en los materiales compuestos para la industria, sin embargo, debemos aclarar, que las más usadas en los fibroplásticos de aplicaciones

industriales ordinarias, son las poliméricas, a las que nos seguiremos refiriendo en este artículo.

A) Poliméricas

A.1 Termoestables

Poliéster isoftálico, Éster vinílico, Resina de poliéster modificado, Resina Epoxy, Resina fenólica, Poliamidas.

A. 2 Termoplásticas

Nylon, Policarbonato, Poliacetato, Poliamida, Imida, Poliéster, Polisulfonato.

B) Cerámicas

Alúmina (Al₂O₃), Carbo-silicona (CSi), Nitrato de silicona (Si₃N₄).

C) Metálicas

Aluminio, Titanio, Magnesio.

Superalcaciones de Níquel, Acero inoxidable.

En este artículo nos estamos centrando en los fibroplásticos con matrices poliméricas, que son las de aplicaciones técnicas más frecuentes.

Como hemos visto en la clasificación, éstas se subdividen en termoestables y termoplásticas.

Estas últimas, las termoplásticas, se vuelven plásticas y deformables con la temperatura, como son los policarbonatos, poliacetatos, poliamida-imida, poliéter-éter ketona, polisulfonatos, etc.

Son empleadas para aplicaciones concretas, por su fácil cambio de forma, reparaciones sencillas y posibilidad de reciclado. Tienen una alta deformación límite y resistencia al impacto y a la fractura.

Las termoestables presentan, en cambio, estabilidad térmica y mayor resistencia a agentes químicos.

Presentan un comportamiento elástico, con poca fluencia y poca relajación por tensión. Tienen amplios campos de aplicación en la industria, por ser materiales muy resistentes y ligeros y a ellos vamos a referirnos, preferentemente, de aquí en adelante.

Las características normales de las resinas más empleadas: poliéster, éster vinílico y resina epoxy, se presentan en la Tabla 3.

5. Los aditivos

Distintos aditivos en las matrices permiten mejorar determinadas características físicas, como la resistencia al fuego o a determinados agentes químicos, aislamiento eléctrico o colorantes para cambiar su aspecto o el acabado superficial.

Silicato aluminico (caolín): Resistencia química, aislamiento, acabado superficial, opacidad.

Carbonato cálcico: reduce coste, blanquea y mejora la superficie.

Trióxido de antimonio e hidróxido aluminico: retardantes del fuego.

6. Fabricación y aplicaciones de piezas y elementos de fibroplástico

6.0 Sistemas generales de aplicación de fibra

Los sistemas más comunes de incorporación de la fibra (premezclado: por proyección, por gunitado o bien como pulpa, en los fibrocementos) no son tan eficaces como la disposición ordenada en hilos, en tejidos de fibra, o en entretejidos desordenadamente, pero formado mantas de fibra, como en el caso de los perfiles o piezas de fibroplástico.

La fabricación de elementos se realiza mediante dos procedimientos fundamentales: por moldeo o por tracción:

6.1 Moldeo

Preparación y armado de las piezas, según la conveniencia de la aplicación.

Aplicaciones: aeronáutica, automoción, fabricación de avionetas, yates, cabinas de coches o camiones, etc.

Industria en general.

El coste, evidentemente, es elevado, tanto por el precio de las materias primas como por la mano de obra necesaria para la completa operación de moldeo; sin embargo, es competitivo respecto de otros materiales, por su elevada resistencia y menor densidad.

6.2 Tracción

6.2.1 Proceso

La tracción es un proceso de trefilado o extrusión mediante tracción. Una fabricación análoga a la del trefilado metálico, que permite fabricar perfiles, tubos o elementos cilíndricos, tirando de los hilos hechos con las fibras de refuerzo.

TABLA 3

Características de matrices poliméricas

	Exp. Térmica 10 ⁶ mm/°C	Densidad g/cm ³	Resistencia Mpa	Rigidez Gpa	Elongación %	Curado %
Epoxy	50-80	1,2-1,3	55-130	2,7-4,1	2,0-3,2	1,0-5,0
Poliéster	60-205	1,1-1,4	35-103	2,1-4,1	1,0-5,0	5,0,12-0
Éster Vinílico	93-135	1,1-1,3	73-81	3,0-3,5	3,5-5,5	5,4-10,3

(Este sistema se denomina en inglés “pultrusion”, palabra derivada en ese idioma de “pull”, tirar o traccionar y “extrusion”).

El diagrama del fibroplástico y el proceso de fabricación, se representan, esquemáticamente, en las Figuras 2 y 3.

6.2.2 Productos y aplicaciones

Con este sistema la fabricación de perfiles se ha podido abaratar sensiblemente, permitiendo su aplicación, en determinados casos, a temas de ingeniería civil.

En la Figura 4 se presentan algunas de las formas más empleadas.

En general se puede decir que están normalizados y en producción perfiles de formas análogas a los de los aceros, pero que la flexibilidad de la fabricación permite introducir fácilmente nuevos perfiles para ciertas aplicaciones .

En la Tabla 4 se indican las características medias obtenidas con perfiles trefilados con matriz de poliéster isoftálico (P.E.I.) y con matriz de éster vinílico (E.V.). Se indican las características mecánicas y físicas principales.

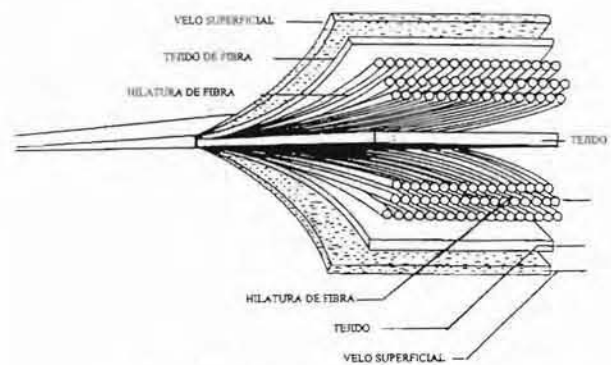


Figura 2.- Diagrama del fibroplástico.

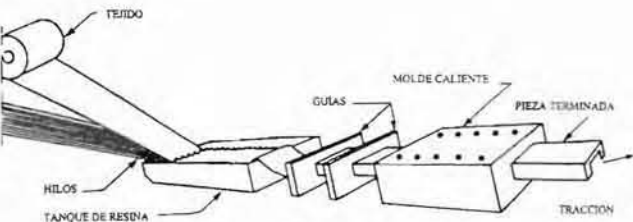


Figura 3.- Proceso de tracción.

TABLA 4

Principales características de los perfiles friboplásticos

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	SERIES	
		P.E.I.	E.V.
MECÁNICAS			
Resistencia tracción (long.)	N/mm ²	227	258
Resistencia tracción (transv.)	N/mm ²	52	55
Módulo elast. tracción (long.)	kN/mm ²	17,2	20,7
Mód. elast. tracción (transv.)	kN/mm ²	5,5	6,9
Resistencia compresión (long.)	N/mm ²	227	258
Resistencia compresión (transv.)	N/mm ²	113,7	137,8
Módulo compresión (long.)	kN/mm ²	17,2	19,3
Módulo compresión (transv.)	kN/mm ²	6,9	8,3
Resistencia a cortante	N/mm ²	37,9	41,3
Módulo elasticidad transversal	kN/mm ²	2,9	2,9
Resistencia en flexión (long.)	N/mm ²	227	258
Resistencia en flexión (transv.)	N/mm ²	75,8	86
Mód. elast. en flexión (long.)	kN/mm ²	11	13,8
Mód. elast. en flexión (transv.)	kN/mm ²	5,5	6,9
Deformación a la rotura (long.)	%	1,8	
Deformación a la rotura (transv.)	%	1,65	
FÍSICAS			
Dureza Barcol		45	45
Absorción de agua	% max.	0,6	0,5
Densidad		1,66	1,93

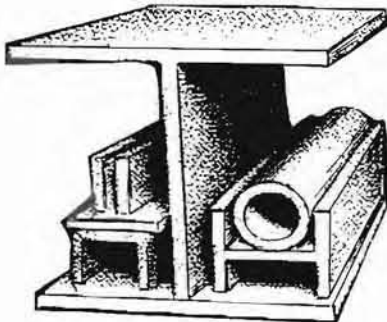
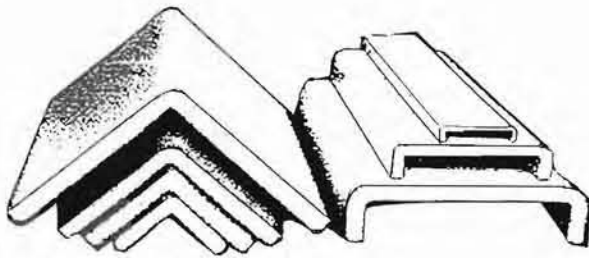


Figura 4.- Perfiles obtenidos por tractrusión.

6.2.3 Comparación de materiales

En las Figuras 5 y 6 se presentan gráficos comparativos de distintos materiales.

En la Figura 5 se manifiesta que la resistencia por unidad de peso del fibroplástico trefilado, por tractrusión, es mayor que el de los demás materiales indicados.

En la Figura 6 se compara el coste por unidad de volumen. Se muestra que el perfil de tractrusión tiene un coste análogo al del tubo de acero soldado y es menor que el del acero estirado.

7. Ventajas de ese tipo de materiales

1. Mucha mayor resistencia a igualdad de peso. Un material con una resistencia próxima a la del acero y con una densidad poco mayor que la madera.
2. Es inoxidable e inalterable. No necesita pintarse y está exento de mantenimiento.
3. Su ligereza favorece y abarata el transporte y los medios de ejecución de obra.
4. Es poco duro, lo que permite trabajarlo como la madera, aunque la herramienta se desgasta mucho más.
5. Es aislante para la electricidad y transparente a las ondas de radio. Lo que permite amplias aplicaciones en instalaciones radioeléctricas.
6. Permite ensamblar, con facilidad, varios elementos por pegado para favorecer el montaje en obra.

8. Inconvenientes

1. Es mucho más flexible que el acero, por lo que presenta mayores deformaciones a igualdad de carga.
2. A igualdad de resistencia es más caro que el acero ordinario, pero más barato que el inoxidable y algo más económico que el aluminio.
3. Presenta rotura frágil, lo que condiciona un coeficiente de seguridad más alto.
4. No es reciclable.

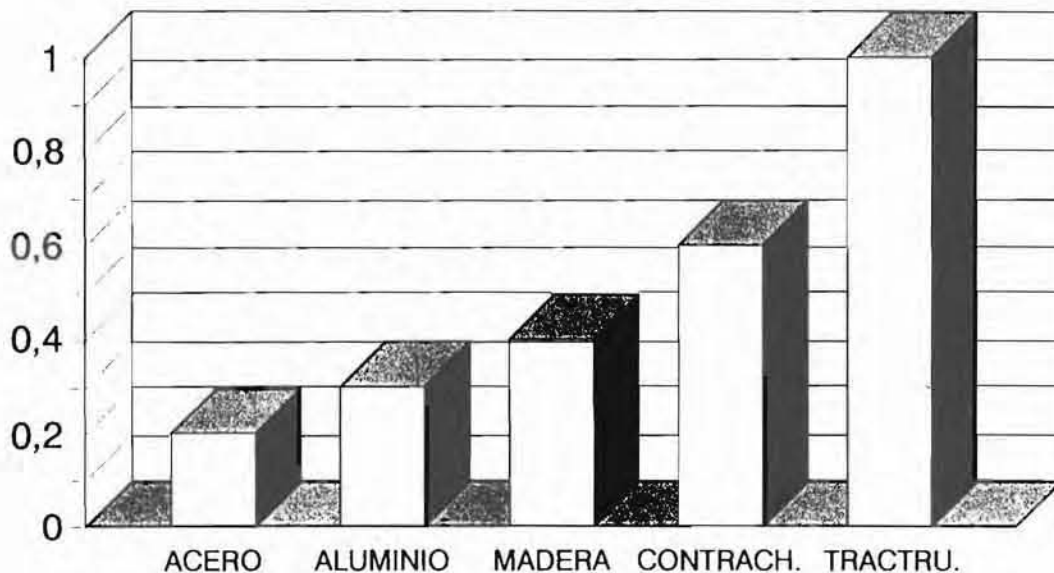


Figura 5.- Comparación de materiales. Resistencia por unidad de peso.

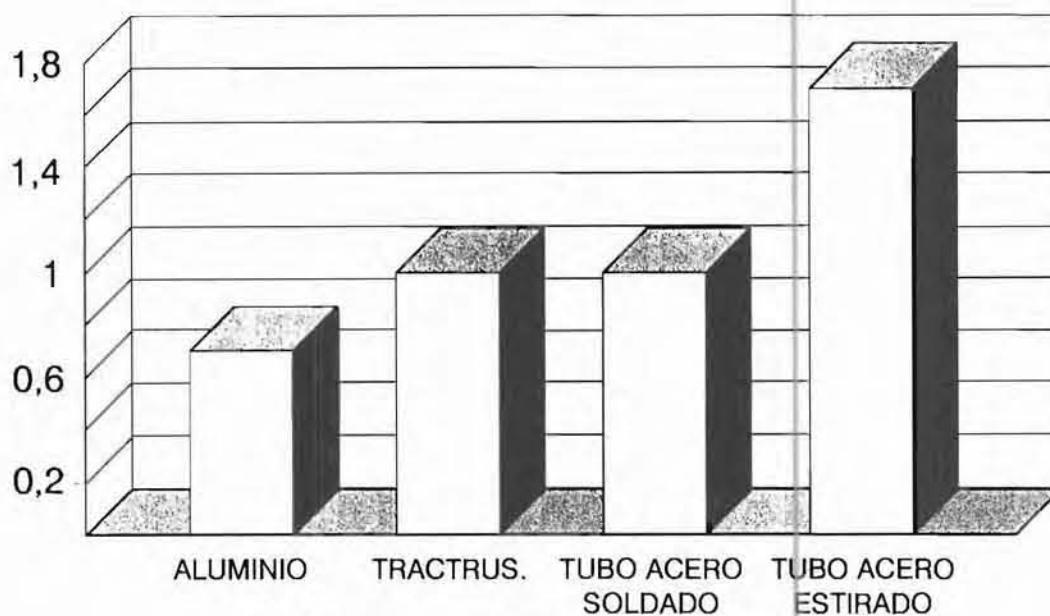


Figura 6.- Comparación de materiales. Coste por unidad de volumen.

9. El proyecto de elementos o estructuras con fibroplásticos

Para el proyecto se pueden aplicar las fórmulas habituales de resistencia de materiales, con las características mecánicas dadas en las tablas.

Las diferencias básicas son las siguientes:

Las estructuras deben proyectarse atomilladas o con pegamento adecuado, por este orden: resinas epoxy, acrílicas, poliéster (orden de preferencia).

La deformación suele ser determinante en aquellos elementos sometidos a flexión, en los cuales tiene también importancia la deformación a cortante.

La estabilidad elástica está también más afectada por el bajo módulo elástico.

Los coeficientes de seguridad varían de 2 a 10, según las aplicaciones. Normalmente, 3 a cortante y 2 a flexión.

10. Aplicaciones y futuro de estos materiales

Construcción Industrial:

- . Estructuras en ambiente corrosivo.
- . Estructuras en la industria química y petroquímica.
- . Construcciones en plantas de depuración o tratamiento de aguas residuales.
- . Paneles de control.
- . Marcos de puertas y ventanas. Paneles.

Automoción

- . Elementos de carrocería.
- . Células de aeronaves o embarcaciones.

Industria eléctrica y radioeléctrica

- . Estructuras aislantes y transparentes a las ondas de radio.
- . Bandejas de cables.

Utillaje industrial

- . Mangos y accesorios para herramientas.
- . Escaleras aislantes.

Útiles deportivos

- . Esquies, raquetas, juguetería.

11. Conclusiones

Los fibroplásticos en perfiles fabricados por tractrusión, representan un nuevo material, resistente como el acero y ligero como la madera. Que se trabaja también con la misma facilidad que se hace con la madera, ya que su dureza es análoga, por lo que se puede serrar y cortar con el mismo utillaje, aunque evidentemente el desgaste de la herramienta será mucho mayor.

Sus uniones se realizan atomilladas o pegadas y permiten realizar estructuras análogas a las del acero.

Como es un material que no se oxida, ni tiene corrosión alguna, su mantenimiento es nulo, por lo que está especialmente indicado en ambientes agresivos, medios marinos, industria química, etc.

Aunque es más caro que el acero, si se tienen en cuenta los

costes de pintura y mantenimiento del acero, este material resulta muy competitivo en los ambientes indicados.

Su poco peso exige medios auxiliares más sencillos, lo que supone también una economía en los montajes.

Publicaciones del Instituto Eduardo Torroja-CSIC

	<p>SUMARIO: Prólogo Prof. G. Ciribini.</p> <p>Introducción</p> <p>Capítulo 1.— La industrialización en las proclamas y manifiestos de arquitectura.</p> <p>Capítulo 2.— ¿Réquiem por la construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 3.— Algunos conceptos básicos.</p> <p>Capítulo 4.— ¿Proyecto tradicional, construcción industrializada?</p> <p>Capítulo 5.— Componentes.</p> <p>Capítulo 6.— La coordinación dimensional hoy.</p> <p>Capítulo 7.— Flexibilidad, intercambiabilidad y catálogos.</p> <p>Capítulo 8.— Industrialización, normativa y calidad.</p> <p>Capítulo 9.— Reflexiones finales.</p> <p>publicación del INSTITUTO EDUARDO TORROJA</p>
<p>ALOJAMIENTO Y TECNOLOGIA: ¿INDUSTRIALIZACION ABIERTA?</p> <p>JULIAN SALAS, ING. IND. (I.E.T.c.c.)</p> <p>Un volumen de 160 páginas, 109 figuras y 16 tablas. Tamaño 240 x 168 mm. Encuadernado en rústica.</p>	